

**Program studiów**

# **Zaawansowane techniki programowania maszyn CNC podyplomowe**

## 1. Podstawowe informacje o studiach podyplomowych

Nazwa studiów	<b>Zaawansowane techniki programowania maszyn CNC</b>
Poziom studiów	<b>podyplomowe</b>
Liczba semestrów	studia niestacjonarne: <b>2</b>
Liczba punktów ECTS wymagana do ukończenia studiów	<b>35</b>
Łączna liczba godzin zajęć	<b>260</b>

## 2. Cel studiów podyplomowych

Celem studiów jest nabycie wiedzy i umiejętności w zakresie zaawansowanych technik programowania maszyn CNC uwzględniających: programowanie obróbki kompletnej, addytywnej oraz wieloosiowej, zaawansowane modelowanie powierzchniowe oraz techniki CAX w optymalizacji procesów wytwarzania.

## 3. Adresaci studiów podyplomowych

Adresatami studiów podyplomowych są absolwenci studiów kierunków technicznych zainteresowani programowaniem maszyn CNC na poziomie zaawansowanym.

## 4. Sylwetka absolwenta, możliwości zatrudnienia

Absolwent studiów podyplomowych potrafi programować maszyny CNC w obróbce kompletnej oraz wieloosiowej. Umie posługiwać się oprogramowaniem CAX na poziomie zaawansowanym: wykonuje modele powierzchniowe o złożonych kształtach, potrafi konfigurować cykle obróbki w aspekcie HPC oraz HSC, programuje cykle obróbki wieloosiowej oraz addytywnej. Zna nowoczesne metody CAX w optymalizacji procesów wytwarzania.

## 5. Zasady rekrutacji

Rekrutacja na studia podyplomowe odbywa się w Systemie Internetowej Rekrutacji kandydatów „SIR” przez stronę internetową: [www.prz.edu.pl](http://www.prz.edu.pl). Rejestracja kandydata w SIR jest warunkiem przystąpienia do postępowania kwalifikacyjnego. Rekrutacja przebiega bez egzaminów wstępnych. O przyjęciu decyduje pozytywna weryfikacja dokumentów złożonych przez kandydata, a w przypadku większej liczby kandydatów niż liczba miejsc określona w limitach, o przyjęciu decyduje kolejność złożenia kompletu wymaganych dokumentów w wyznaczonym terminie. Miejsce składania dokumentów: sekretariat Katedry Techniki Wytwarzania i Automatyzacji (KTWiA) Wydziału Budowy Maszyn i Lotnictwa Politechniki Rzeszowskiej, ul. W. Pola 2, 35-959 Rzeszów, budynek C, 1. piętro, pokój C.108. Uzupełniające dane kontaktowe: tel. 17 865 1203, tel./fax 17 854 2595, [www.ktwia.prz.edu.pl](http://www.ktwia.prz.edu.pl) Kandydaci składają: 1) ankietę osobową (formularz PODANIA SIR) – wydrukowaną z Systemu Internetowej Rekrutacji i podpisaną przez kandydata; 2) kopię dyplomu ukończenia studiów wyższych – oryginał dyplomu należy przedstawić do wglądu kierownikowi lub osobie przez niego upoważnionej w celu poświadczenia zgodności kopii składanego dokumentu z jego oryginałem; 3) oświadczenie dotyczące pokrycia kosztów kształcenia, w przypadku gdy koszty kształcenia pokrywa pracodawca. Niedostarczenie w ustalonym terminie kompletu dokumentów skutkuje niedopuszczeniem kandydata do dalszego postępowania rekrutacyjnego.

## 6. Efekty uczenia się

Symbol	Treść	Odniesienia do PRK
K_W01	Ma pogłębioną i uporządkowaną wiedzę w zakresie technik programowania maszyn CNC	<b>P7S_WG</b>
K_W02	Ma pogłębioną i uporządkowaną wiedzę w zakresie metod i systemów komputerowego wspomaganie wykorzystywanych w technikach wytwarzania szczególnym uwzględnieniem: modelowania MES, projektowania CAD, programowaniu CAM	<b>P7S_WG</b>
K_W03	Zna trendy rozwojowe i najważniejsze nowe osiągnięcia w dziedzinie programowania maszyn CNC	<b>P7S_WG</b>
K_W04	Zna podstawowe metody, techniki, narzędzia i materiały stosowane w złożonych zadaniach inżynierskich z zakresu inżynierii mechanicznej, typowych dla realizowanego kierunku	<b>P7S_WG</b>
K_U01	Potrafi ocenić przydatność i możliwość wykorzystania nowych osiągnięć w zakresie technik wytwarzania.	<b>P7S_WG</b>
K_U02	Potrafi wykorzystywać wybrane systemy komputerowego wspomaganie prac inżynierskich	<b>P7S_UW</b>
K_U03	Potrafi pozyskiwać informacje z literatury, baz danych oraz innych właściwie dobranych źródeł potrafi integrować uzyskane informacje	<b>P7S_UW</b>
K_U04	Potrafi rozwiązać zaawansowane zadanie projektowe z zakresu programowania obrabiarek CNC	<b>P7S_UW</b>
K_U05	Potrafi ocenić przydatność i możliwości zaawansowanego wykorzystania nowych osiągnięć w zakresie technik i programowania maszyn CNC	<b>P7S_UW</b>
K_K01	Jest gotów do krytycznej oceny posiadanej wiedzy i odbieranych treści jak również do uznawania znaczenia wiedzy w rozwiązywaniu problemów poznawczych i praktycznych oraz zasięgania opinii ekspertów w przypadku trudności z samodzielnym rozwiązaniem problemu	<b>P7S_KK</b>
K_K02	Potrafi myśleć w sposób kreatywny i przedsiębiorczy	<b>P7S_KO</b>
K_K03	Potrafi pracować indywidualnie i w zespole, potrafi zdefiniować priorytety w działalności indywidualnej i grupowej oraz ma świadomość odpowiedzialności za realizowane zadania	<b>P7S_KO</b>

Opis efektów uczenia się zawiera efekty uczenia się, o których mowa w ustawie z dnia 22 grudnia 2015 r. o Zintegrowanym Systemie Kwalifikacji i uwzględnienia uniwersalne charakterystyki pierwszego stopnia określone w tej ustawie oraz charakterystyki drugiego stopnia określone w przepisach wydanych na podstawie art. 7 ust. 3 tej ustawy.

## 7. Wykaz zajęć, parametry programu studiów, metody weryfikacji efektów uczenia się oraz treści programowe

### 7.1 Wykaz zajęć

Sem.	Jedn.	Nazwa zajęć	Wykład	Ćwiczenia/ Lektorat	Lab.	Projekt/ Seminarium	Suma godzin	Punkty ECTS	Godziny praktyczne	ECTS praktyczne	Godziny zdalne	ECTS zdalne	Egzamin	Oblig.
------	-------	-------------	--------	------------------------	------	------------------------	----------------	----------------	-----------------------	--------------------	-------------------	----------------	---------	--------

1	MO	Modelowanie powierzchniowe CAD	0	0	30	0	30	4	30	4	0	0	N	
1	MO	Obróbka powierzchni złożonych CAM I	15	0	30	0	45	5	30	3	15	2	T	
1	MO	Programowanie obróbki wieloosiowej CNC	15	0	15	0	30	4	15	2	15	2	N	
1	MO	Techniki CAx w optymalizacji procesów wytwarzania	10	0	15	0	25	4	15	2	10	2	N	
<b>Sumy za semestr: 1</b>			<b>40</b>	<b>0</b>	<b>90</b>	<b>0</b>	<b>130</b>	<b>17</b>	<b>90</b>	<b>11</b>	<b>40</b>	<b>6</b>	<b>1</b>	<b>4</b>
2	MO	Inżynieria rekonstrukcyjna	15	0	15	0	30	4	15	2	15	2	N	
2	MO	Obróbka kompletna	10	0	30	0	40	5	30	4	10	1	T	
2	MO	Obróbka powierzchni złożonych CAM II	0	0	30	0	30	5	30	5	0	0	N	
2	MO	Programowanie obróbki addytywnej	0	0	30	0	30	4	30	4	0	0	N	
<b>Sumy za semestr: 2</b>			<b>25</b>	<b>0</b>	<b>105</b>	<b>0</b>	<b>130</b>	<b>18</b>	<b>105</b>	<b>15</b>	<b>25</b>	<b>3</b>	<b>1</b>	<b>0</b>
<b>SUMY ZA WSZYSTKIE SEMESTRY:</b>			<b>65</b>	<b>0</b>	<b>195</b>	<b>0</b>	<b>260</b>	<b>35</b>	<b>195</b>	<b>26</b>	<b>65</b>	<b>9</b>	<b>2</b>	<b>4</b>

Liczba punktów ECTS przypisanych do zajęć kształtujących umiejętności praktyczne: **26**

Liczba punktów ECTS przypisanych do zajęć prowadzonych z wykorzystaniem metod i technik kształcenia na odległość: **9**

## 7.2 Parametry programu studiów i metody weryfikacji efektów uczenia się

### Parametry programu studiów

Łączna liczba punktów ECTS, którą student musi uzyskać w ramach zajęć prowadzonych z bezpośrednim udziałem nauczycieli akademickich lub innych osób prowadzących zajęcia.	10 ECTS
Łączna liczba punktów ECTS przyporządkowana zajęciom związanym z prowadzoną w uczelni działalnością naukową w dyscyplinie lub dyscyplinach, do których przyporządkowany jest kierunek studiów.	27 ECTS
Łączna liczba punktów ECTS, jaką student musi uzyskać w ramach zajęć z dziedziny nauk humanistycznych lub nauk społecznych w przypadku kierunków studiów przyporządkowanych do dyscyplin w ramach dziedzin innych niż odpowiednio nauki humanistyczne lub nauki społeczne.	--
Łączna liczba punktów ECTS przyporządkowana przedmiotom do wyboru.	0 ECTS
Liczba godzin zajęć z wychowania fizycznego.	--

### Metody weryfikacji efektów uczenia się

Szczegółowe zasady oraz metody weryfikacji i oceny efektów uczenia się pozwalające na sprawdzenie i ocenę wszystkich efektów uczenia się są opisane w kartach zajęć. W ramach programu weryfikacja osiągniętych efektów uczenia się jest realizowana w szczególności przy pomocy następujących metod: egzamin cz. pisemna, egzamin cz. praktyczna, egzamin cz. ustna, zaliczenie cz. pisemna, zaliczenie cz. praktyczna, zaliczenie cz. ustna, esej, kolokwium, sprawdzian pisemny, obserwacja wykonawstwa, prezentacja dokonań (portfolio), prezentacja projektu, raport pisemny, referat pisemny, referat ustny, sprawozdanie z projektu, test pisemny. Szczegółowe informacje na temat weryfikacji osiągniętych przez studentów efektów uczenia się znajdują się w kartach zajęć opublikowanych na stronie internetowej wydziału. Parametry wybranych metod weryfikacji efektów uczenia się znajdują się w tabeli poniżej.

Liczba zajęć, w których wymagany jest egzamin	2
Liczba zajęć, w których wymagany jest egzamin w formie pisemnej	2
Liczba zajęć, w których wymagany jest egzamin w formie ustnej	0
Liczba godzin przeznaczona na egzamin w formie pisemnej	2
Liczba godzin przeznaczona na egzamin w formie ustnej	0
Szacowana liczba godzin, którą studenci powinni poświęcić na przygotowanie się do egzaminów i zaliczeń	158
Liczba zajęć, które kończą się zaliczeniem bez egzaminu	6
Liczba godzin przeznaczona na zaliczenie w formie pisemnej	11
Liczba godzin przeznaczona na zaliczenie w formie ustnej	0
Szacowana liczba godzin, którą studenci powinni poświęcić na przygotowanie się do zaliczeń w trakcie semestrów na zajęciach ćwiczeniowych (bez zaliczeń końcowych)	0
Liczba zajęć, w których weryfikacja osiągniętych efektów uczenia się realizowana jest na podstawie obserwacji wykonawstwa (laboratoria)	8

Liczba laboratoriów, w których osiągnięte efekty uczenia się sprawdzane są na podstawie sprawdzianów w trakcie semestru	5
Szacowana liczba godzin, którą studenci powinni poświęcić na przygotowanie się do sprawdzianów realizowanych na zajęciach laboratoryjnych	90
Liczba zajęć projektowych, w których osiągnięte efekty uczenia się sprawdzane są na podstawie prezentacji projektu, raportu pisemnego, referatu pisemnego, referatu ustnego lub sprawozdania z projektu	0
Szacowana liczba godzin, którą studenci powinni poświęcić na wykonanie projektu/dokumentacji/raportu oraz przygotowanie do prezentacji	0
Liczba zajęć wykładowych, które wymagają odrębnego zaliczenia w formie pisemnej lub ustnej niezależnie od wymagań innych form zajęć tego modułu	3
Szacowana liczba godzin, którą studenci powinni poświęcić na przygotowanie się do sprawdzianów realizowanych na zajęciach wykładowych	35

### 7.3 Treści programowe

Inżynieria rekonstrukcyjna	K_W02, K_U01, K_U02, K_U03, K_K01, K_K03
<ul style="list-style-type: none"> <li>Wprowadzenie do inżynierii rekonstrukcyjnej. Budowa, obsługa współrzędnościowych systemów pomiarowych stykowych i optycznych 2D.</li> <li>Budowa, obsługa współrzędnościowych systemów pomiarowych oświetlających obiekt światłem laserowym oraz strukturalnym.</li> <li>Tomograficzne systemy diagnostyczne. Rekonstrukcja geometrii modeli na podstawie obrazów tomograficznych.</li> <li>Obróbka danych pomiarowych uzyskanych z systemów optycznych i stykowych 2D. Tworzenie modeli 3D-CAD prostych elementów geometrycznych.</li> <li>Obróbka danych pomiarowych uzyskanych z systemów optycznych oświetlających obiekt światłem laserowym oraz strukturalnym. Edycji siatki trójkątów. Tworzenie modelu 3D-CAD.</li> <li>Obróbka danych pomiarowych uzyskanych z systemów tomograficznych.</li> <li>Tworzenie modelu 3D-CAD uzupełnień struktur kostnych.</li> <li>Obsługa oraz pomiar geometrii modeli przy użyciu systemów optycznych i stykowych 2D. Obróbka danych pomiarowych.</li> <li>Obsługa i pomiar geometrii modelu przy użyciu systemu pomiarowego oświetlającego obiekt światłem laserowym. Obróbka danych pomiarowych.</li> <li>Wprowadzenie do zintegrowanego systemu CAD/CAM w inżynierii rekonstrukcyjnej.</li> <li>Zastosowanie poleceń zintegrowanego systemu CAD/CAM w procesie przygotowania geometrii części. Optymalizacja wejściowego modelu powierzchniowego.</li> <li>Rekonstrukcja geometrii części do postaci modelu parametrycznego 3D-CAD.</li> <li>Rekonstrukcja geometrii z danych tomograficznych.</li> <li>Analiza błędów rekonstrukcji geometrii.</li> </ul>	
Modelowanie powierzchniowe CAD	K_W02, K_W04, K_U01, K_U02, K_U05, K_K01, K_K03
<ul style="list-style-type: none"> <li>Podstawowe wiadomości z zakresu modelowania powierzchniowego CAD.</li> <li>Opracowanie powierzchniowych i hybrydowych modeli 3D różnych wyrobów z wykorzystaniem krzywych 3D.</li> <li>Opracowanie powierzchniowych i hybrydowych modeli 3D różnych wyrobów z wykorzystaniem powierzchni swobodnych.</li> </ul>	
Obróbka kompletna	K_W01, K_W02, K_W03, K_W04, K_U01, K_U02, K_U03, K_U04, K_U05, K_K01, K_K02, K_K03
<ul style="list-style-type: none"> <li>Zaawansowane programowanie obrabiarek wielozadaniowych w aspekcie obróbki kompletnej: geometria, struktura programu sterującego, zarządzanie narzędziami, parametry technologiczne, pozycjonowanie osi i wrzecion, przesunięcia bazowe i transformacje. Funkcje przygotowawcze w aspekcie obróbki kompletnej. Cykle stałe w aspekcie obróbki kompletnej. Programowanie wysokopoziomowe. Sterowanie wielokanałowe: synchronizacja obróbki. Egzamin pisemny.</li> <li>Zaawansowane programowanie operacji tokarskich oraz frezarskich w kodzie ISO w aspekcie obróbki kompletnej na obrabiarkę wielozadaniową wyposażoną w sterowanie jednokanałowe, głowicę rewolwerową górną, oś C, oś Y, wrzeciono przechwytyjące oraz narzędzia napędzane. Zaawansowane programowanie operacji tokarskich oraz frezarskich w kodzie ISO w aspekcie obróbki kompletnej na obrabiarkę wielozadaniową wyposażoną w sterowanie dwukanałowe, dwie głowice rewolwerowe: górną oraz dolną, oś C oraz narzędzia napędzane. Zaawansowane programowanie CAM operacji tokarskich oraz frezarskich w aspekcie obróbki kompletnej na obrabiarkę wielozadaniową wyposażoną w wrzeciono przechwytyjące, górną skrętną oś obrotową B głowicę frezarską, oś C, oś Y, dolną głowicę rewolwerową z narzędziami napędzanymi oraz sterowanie dwukanałowe. Zaliczenie praktyczne.</li> </ul>	
Obróbka powierzchni złożonych CAM I	K_W01, K_W02, K_W03, K_W04, K_U01, K_U02, K_U03, K_U04, K_U05, K_K01, K_K02
<ul style="list-style-type: none"> <li>Powierzchnie złożone: klasyfikacja, typy, definicja, warianty technologiczne obróbki. Etapy wykonania części o geometrii ograniczonej powierzchniami złożonymi. Funkcje zaawansowane 'advance surfaces' układu sterowania numerycznego CNC w aspekcie obróbki powierzchni złożonych, czynności przygotowawcze, uaktywnienie specyficznych dla technologii wartości dynamiki, kompresja bloków NC, warunki brzegowe stosowania funkcji kompresora, tryb przyspieszenia, tryb przechodzenia płynnego, przebieg programu z pamięcią wczytywania wyprzedzającego, ruch ze sterowaniem wyprzedzającym, programowana tolerancja konturu/orientacji, transformacje 3, 4 i 5-osiowe, programowanie pozycji osi obrotowych, programowanie interpolacji osi orientacji, odniesienie osi orientacji, wygładzanie przebiegu orientacji. Egzamin pisemny.</li> <li>Programowanie transformacji kinematycznej walcowej dla obróbki dowolnie przebiegających rowków na przykładzie części walcowych typu bębna sterującej. Programowanie transformacji orientacji 3-osiowej dla obróbki powierzchni złożonych na przykładzie części typu formy i matryce. Programowanie transformacji orientacji 4-osiowej dla obróbki powierzchni złożonych na przykładzie części typu krzywka. Analiza geometrii części pod względem technologiczności oraz przydatności do programowania złożonych torów ruchu narzędzia. Zaliczenie praktyczne.</li> </ul>	
Obróbka powierzchni złożonych CAM II	K_W01, K_W02, K_W03, K_W04, K_U01, K_U02, K_U03, K_U04, K_U05, K_K01, K_K02, K_K03
<ul style="list-style-type: none"> <li>Programowanie toru ruchu narzędzia dla obróbki części typu łopatką. Programowanie toru ruchu narzędzia dla obróbki części typu wirnik. Programowanie toru ruchu narzędzia dla obróbki części typu tarcza łopatkowa. Programowanie toru ruchu narzędzia dla obróbki części typu kanał dolotowy. Programowanie toru ruchu narzędzia dla obróbki części typu stożkowe koło zębate o kołowo-łukowej linii zęba. Programowanie toru ruchu narzędzia dla obróbki części o powierzchniach nieciągłych. Analiza geometrii części pod względem technologiczności oraz przydatności do programowania złożonych torów ruchu narzędzia. Zaliczenie praktyczne.</li> </ul>	
Programowanie obróbki addytywnej	K_W01, K_W02, K_W03, K_W04, K_U01, K_U02, K_U04, K_U04, K_U05, K_K01, K_K02, K_K03
<ul style="list-style-type: none"> <li>Automatyczne programowanie cykli addytywnych 3D z uwzględnieniem oprzyrządowania technologicznego oraz badania symulacyjne i weryfikacyjne opracowanych programów.</li> <li>Automatyczne programowanie cykli addytywnych 5D z uwzględnieniem oprzyrządowania technologicznego oraz badania symulacyjne i weryfikacyjne opracowanych programów.</li> </ul>	
Programowanie obróbki wieloosiowej CNC	K_W01, K_W02, K_W03, K_W04, K_U01, K_U02, K_U03, K_U04, K_U05, K_K01, K_K02, K_K03
<ul style="list-style-type: none"> <li>Komputerowe sterownie numeryczne typu 5C. Metody programowania obrabiarek wieloosiowych CNC. Programowanie na bazie kodu ISO obróbki wieloosiowej. Cykle i funkcje programowania obróbki pozycjonowanej 3+2 w trybie skrętu. Programowanie obróbki 3+2 w trybie dojazdu narzędzia ze ściśle zdefiniowaną orientacją jego osi w przestrzeni euklidesowej. Programowanie kompensacji kinematyki 5-osiowej na potrzeby obróbki pozycjonowanej 3+2-osiowej. Programowanie transformacji układów współrzędnych. Cykle i funkcje programowania obróbki symultanicznej 5-osiowej w trybie kompensacji</li> </ul>	

kinematyki. Metody programowania i deklaracji zmiennej orientacji osi narzędzia dla obrabiarek wieloosiowych CNC i sterowań typu 5C. Metody programowania i deklaracja interpolacji osi obrotowych. Kompensacja promienia narzędzia typu 2D oraz 3D w aspekcie programowania obróbki wieloosiowej pozycjonowanej 3+2-osiowej oraz symultanicznej 5-osiowej. Symulacja, weryfikacja i optymalizacja programów sterujących. Zaliczenie pisemne. • Programowanie zabiegów frezowania zgrubnego, kształtującego i wykończeniowego powierzchni zewnętrznych i wewnętrznych oraz zabiegów wiercenia osiowego i gwintowania w obróbce pozycjonowanej 3+2-osiowej w trybie skrętu. Symulacja i weryfikacja poprawności kodu NC. Programowanie zabiegów frezowania kształtującego i wykończeniowego powierzchni zewnętrznych w obróbce pozycjonowanej 3+2-osiowej w trybie dojazdu narzędzia ze ściśle określoną orientacją jego osi. Symulacja i weryfikacja poprawności kodu NC. Programowanie zabiegów frezowania zgrubnego, kształtującego i wykończeniowego powierzchni zewnętrznych i wewnętrznych oraz zabiegów wiercenia osiowego i gwintowania w obróbce pozycjonowanej 3+2-osiowej w trybie kompensacji kinematyki oraz transformacji układu współrzędnych. Symulacja i weryfikacja poprawności kodu NC. Programowanie zabiegów frezowania kształtującego i wykończeniowego powierzchni zewnętrznych w obróbce symultanicznej 5-osiowej metodą programowania w kinematyce zależnej. Symulacja i weryfikacja poprawności kodu NC. Programowanie zabiegów frezowania kształtującego i wykończeniowego powierzchni zewnętrznych w obróbce symultanicznej 5-osiowej metodą programowania w kinematyce niezależnej. Symulacja i weryfikacja poprawności kodu NC. Programowanie zabiegów frezowania kształtującego i wykończeniowego powierzchni zewnętrznych w obróbce symultanicznej 5-osiowej metodą programowania w kątach Eulera. Symulacja i weryfikacja poprawności kodu NC. Programowanie zabiegów frezowania kształtującego i wykończeniowego powierzchni zewnętrznych w obróbce symultanicznej 5-osiowej metodą programowania w kątach RPY. Symulacja i weryfikacja poprawności kodu NC. Programowanie zabiegów frezowania kształtującego i wykończeniowego powierzchni zewnętrznych w obróbce symultanicznej 5-osiowej metodą programowania z deklaracją frezowania czołowego. Symulacja i weryfikacja poprawności kodu NC. Programowanie zabiegów frezowania kształtującego i wykończeniowego powierzchni zewnętrznych w obróbce symultanicznej 5-osiowej metodą programowania z deklaracją frezowania obwodowego. Symulacja i weryfikacja poprawności kodu NC. Programowanie zabiegów frezowania kształtującego i wykończeniowego powierzchni zewnętrznych w obróbce symultanicznej 5-osiowej metodą programowania z deklaracją kątów LEAD oraz TILT. Symulacja i weryfikacja poprawności kodu NC.

Techniki CAx w optymalizacji procesów wytwarzania	K_W01, K_W02, K_W03, K_W04, K_U01, K_U02, K_U03, K_U04, K_U05, K_K01, K_K02, K_K03
---------------------------------------------------	------------------------------------------------------------------------------------

- Geometria ostrza narzędzi skrawających. Układy odniesienia w wyznaczaniu geometrii ostrzy. Geometria ostrzy frezów, wiertel, rozwiertaków i noży tokarskich. Zależności pomiędzy kątami ostrza a procesem skrawania, przykłady. • Składowe siły skrawania. Zależności analityczne do wyznaczania siły skrawania. Rozkład składowych siły skrawania w toczeniu, frezowaniu i wierceniu. Opór właściwy skrawania i jego wpływ na wartość siły skrawania. • Podstawy obliczeń wytrzymałościowych narzędzi skrawających. Schemat obliczeń wytrzymałościowych noży tokarskich. Przykłady obliczeń wytrzymałości i odkształcenia noża tokarskiego oraz wytaczaka. • Schemat obliczeń wytrzymałościowych wiertel i frezów. Przykłady obliczeń wytrzymałości i odkształcenia frezu oraz wiertła. • Podstawy projektowania narzędzi skrawających. Rozkład sił działających na ostrze narzędzia skrawającego. Modele procesu skrawania. Konstytutywne modele materiałowe. • Wprowadzenie do obliczeń wytrzymałościowych narzędzi skrawających metoda elementów skończonych MES. Wybór elementów skończonych, określanie warunków brzegowych, definicja warunków obciążenia narzędzia. Interpretacja wyników. • Projektowanie geometrii narzędzi wiertarskich i frezarskich, wykonywanie modeli przestrzennych narzędzi. • Obliczenia wytrzymałościowe i analiza modalna narzędzi skrawających z zastosowaniem MES. Symulacje numeryczne procesu skrawania.